

TEHNOLOGIJA KORIŠĆENJA RAZLIČITIH OTPADNIH GORIVA SAGOREVANJEM U FLUIDIZOVANOM SLOJU

TECHNOLOGY OF USE OF VARIOUS WASTE FUELS FOR FLUIDIZED BED COMBUSTION

Milica MLADENović,

Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Univerzitet u Beogradu, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, 11351 Beograd, mica@vinca.rs,

Dragoljub DAKIĆ,

Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11001 Beograd, dakicdr@vinca.rs,

Stevan NEMODA,

Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Univerzitet u Beogradu, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, 11351 Beograd, snemoda@vinca.rs,

Milijana PAPRIKA,

Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Univerzitet u Beogradu, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, 11351 Beograd, milijana@vinca.rs,

Aleksandar ERIĆ,

Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Univerzitet u Beogradu, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, 11351 Beograd, erica@vinca.rs,

Branislav REPIĆ,

Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Univerzitet u Beogradu, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, 11351 Beograd, brepic@vinca.rs

Savremeno društvo i industrija, gde su sekundarni proizvodi neminovnost, je sve veći generator otpada najrazličitije prirode. U mnogim slučajevima ove materije se ne mogu reciklirati, pa je pitanje njihovog daljeg tretmana/deponovanja, zajedno sa pitanjem zaštite ljudskog zdravlja i životne sredine sve aktuelnije. Održivo upravljanje otpadom doprinosi smanjenju njegove generacije i iscrpljivanja prirodnih resursa (materijalnih i energetske) i obuhvata metode koje spadaju u kategoriju "obnovljivih izvora". Materijalna i energetska iskorišćenost otpada je poželjnija opcija naspram konačnog odlaganja otpada. Jedan od načina za istovremeno ispunjavanje i održivosti domaće energetike je energetska iskorišćenost ovih nekonvencionalnih, otpadnih goriva, primenom tehnologije sagorevanja u fluidizovanom sloju (FS). U radu su prikazani rezultati ispitivanja sagorevanja više vrsta čvrstih i tečnih otpadnih materija, obavljani na industrijsko-demonstracionom FS kotlu. Određivano je temperatursko polje po visini ložišta, analiziran sastav dimnih gasova na izlazu iz ložišta i ostali parametri sagorevanja predmetnih goriva. Analizom dobijenih rezultata data je ocena njihove podobnosti sagorevanja u FS uz mogućnost iskorišćenja njihovog energetskeg potencijala.

Ključne reči: fluidizovani sloj; otpad; obnovljivi izvori

Modern society and industry, where secondary products are inevitable, are the ever increasing generators of the most different types of waste. In many cases, these substances may not be recycled and, therefore, the question of their treatment/disposal and the question of the health and environment protection are increasingly topical issues. The sustainable waste management contributes to the reduction of waste generation and depletion of natural resources (material and energy resources) and comprises the methods that are included in the category of „renewable sources“. Material and energy utilization of waste is a more favourable option in comparison to the definite (final) waste disposal. One of the ways to meet demands and, at the same time, to provide

sustainability of the domestic energy sector is the energy utilization of these unconventional, waste fuels, by using the technology of fluidized bed combustion. This paper includes the results of testing the combustion of several types of solid and liquid waste substances, performed on the industrial-demo boiler with a fluidized bed. The temperature field was determined according to the firing height, the composition of flue gases was analyzed at the firing outlet and other parameters of combustion of the fuels concerned were also analyzed. By the analysis of obtained results, an assessment was given to show their suitability for combustion in a fluidized bed with a possibility to use their energy potential.

Key words: *fluidized bed, waste, renewable sources*

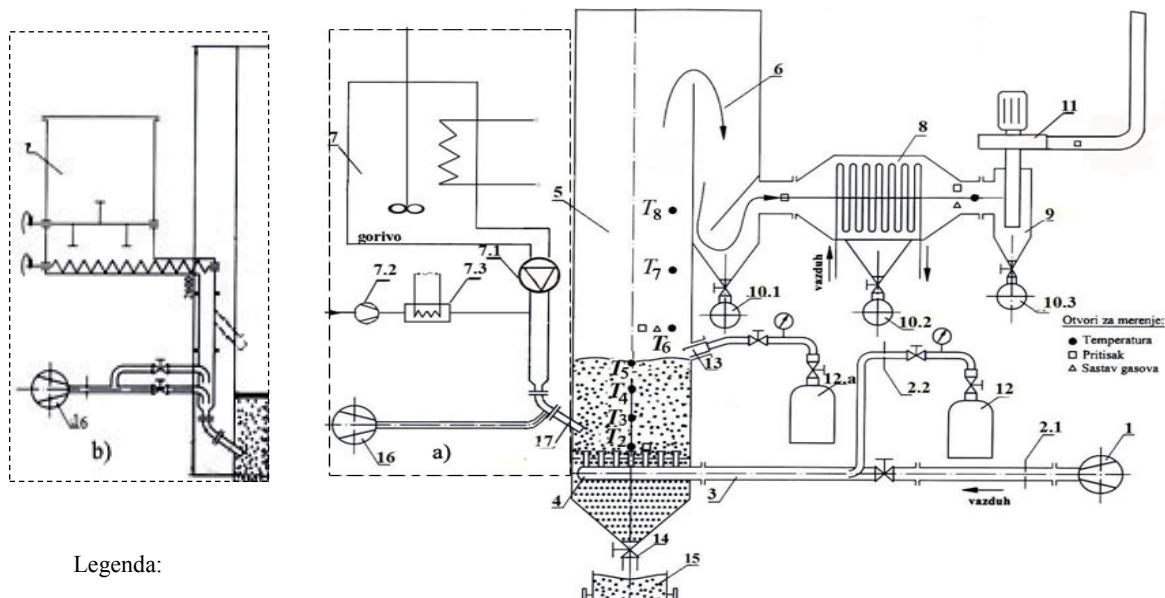
I. Uvod

S ciljem ispunjenja potreba održivog razvoja, potrebno je smanjiti potrošnju fosilnih goriva u korist obnovljive energije, što dugoročno posmatrano doprinosi smanjenju energetske zavisnosti i povećanju energetske efikasnosti. Ove trendove manje-više uspešno prati i Srbija. Privreda Srbije, pri tom, iskazuje urgentnu potrebu za uklanjanjem i iskorišćavanjem otpadnih i nepotrebnih materija iz procesa proizvodnje. Važnu ulogu u realizaciji koncepta održivosti ima i upotreba biomase tj. otpada iz agrarne proizvodnje, šumarstva i povrtarske proizvodnje, otpada iz drveno-prerađivačke i prehrambene industrije. Toplotna moć nekih otpadnih materija je na nivou toplotne moći domaćih ugljeva, pa se sagorevanjem istih postižu energetske i ekonomski efekti, te se mogu smatrati gorivom. Rad tretira ovu sve važniju temu pretvaranja otpada u energiju.

Zbog neujednačenog sastava i gustine, kao i visokog udela balasta, tečna otpadna goriva se teško ili se ne mogu sagorevati u konvencionalnim ložištima, pa je tehnologija pogodna za njihovu termičku dezintegraciju fluidizovani sloj (FS). FS tehnologijom se mogu sagorevati odnosno spaljivati i otpadne niskokalorične materije (npr. zaprljane vode sa malim koncentracijama otrovnih materija, crvena voda iz proizvodnje TNT-a...) uz podršku nekog drugog goriva. Mogućnost sagorevanja čvrstih goriva sa sadržajem balasta i do 85%, sa efikasnim odsumporavanjem dodavanjem krečnjaka direktno u sloj uz nisku emisiju NO_x (niska temperatura sagorevanja ~850°C), daje FS tehnologiji značajnu prednost u poređenju sa drugim tehnologijama sagorevanja, pa je ona preporučena od strane EU za sagorevanje otpadnih materija [1].

II. Prikaz industrijskog demonstracionog i eksperimentalnog kotla za sagorevanje nekonvencionalnih čvrstih i tečnih goriva

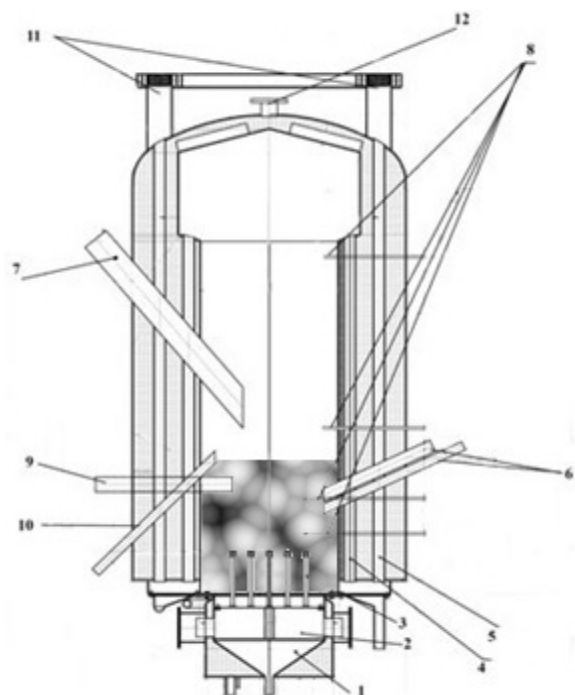
Laboratorija za termotehniku i energetiku Instituta "Vinča" se dugi niz godina bavi proučavanjem fenomena sagorevanja i razvojem FS ložišta. U sklopu tih istraživanja razvijena je metodologija ispitivanja podobnosti sagorevanja goriva u FS na eksperimentalnoj/poluindustrijskoj aparaturi u stacionarnim režimima rada. Iz širokog spektra ispitivanih goriva u radu su predstavljeni rezultati sagorevanja onih **najreprezentativnijih** i to od tečnih otpadnih goriva: *taloga iz rezervoara sirove nafte, iskorišćenih jestivih ulja, masti i ulja iz valjaonica i glicerina* (nus-produkta proizvodnje biodizela). Od čvrstih otpadnih goriva rad tretira: *vanbilansne rezerve uglja* (sitne granulacije, sa visokim sadržajem mineralnih materija i niskom toplotnom moći), *zrnaste biomase* (kukuruz zaražen aflatoksinom), i *papirnog mulja* (otpada iz proizvodnje papira). Ekperimenti sagorevanja navedenih goriva su izvedeni na dvema FS instalacijama i to: ekperimenti sagorevanja tečnih otpadnih goriva i sitnih granulacija uglja na eksperimentalnom ložištu snage 100 kW (Sl. 1), sa doziranjem goriva u sloj, a zrnaste biomase i papirnog mulja na demonstraciono-industrijskom toplovodnom kotlu (300 kW) sa doziranjem na sloj (Sl. 2). Više o eksperimentalnoj aparaturi sa sl. 1 i demonstracionom toplovodnom kotlu sa sl. 2 moguće je naći u radovima [2÷6].



Legenda:

- | | | |
|---|---|---------------------------|
| 1. Duvaljka primarnog vazduha | b) čvrstog – pužni dozator i duvaljka za | 14. Ventil za izdvajanje |
| 2. (2.1 - 2.2) Merni otvori | vazduh | materijala sloja |
| 3. Električni grejač | 8. Hladnjak dimnog gasa | 15. Posuda za sakupljanje |
| 4. Komora sa distributorom vazduha | 9. Ciklonski separator čestica | materijala sloja |
| 5. Ložište sa fluidizovanim slojem (1. promaja) | 10. (10.1 – 10.3) Posude za odlaganje čestica | 16. Duvaljka za hlađenje |
| 6. Komora za izdvajanje čestica (2. promaja) | 11. Ventilator dimnog gasa | vazduha mlaznice |
| 7. Sistem za doziranje goriva a) tečnog - 7.1 dozir | 12. (12.a) Boca propan-butana | 17. Mlaznica |
| pumpa, 7.2 duvaljka i 7.3 grejač nosećeg vazduha; | 13. Gorionik za potpalu | |

Slika 1. Šema eksperimentalne instalacije 1 sa sistemom za doziranje goriva [2÷4]



Legenda :

1. Sabirnik sa vodenim hlađenjem za odvođenje pepela i inertnog materijala sloja
2. Sabirna komora distributora vazduha za fluidizaciju
3. Pečurke distributora vazduha
4. Cevi prve promaje dimnih gasova
5. Cevi druge promaje dimnih gasova (uronjene u vodeni omotač)
6. Kosi uvodnici za pneumatsko doziranje u sloj
7. Kosi uvodnik za doziranje na sloj
8. Keramičke cevi u kojima su smešteni termoparovi za akviziciju temperature u i iznad sloja
9. Horizontalni uvodnik za doziranje čvrstog goriva u sloj
10. Prelivna cev za odvođenje pepela iz sloja
11. Sabirni dimni kanal
12. Izlaz vode iz kotla

Slika 2. Crtež kotla sa fluidizovanim slojem/instalacija 2 sa pozicijama [5÷6]

III. Zašto su navedene otpadne materije interesantne?

Ne postoje egzaktni podaci o količinama generisanih *otpadnih maziva i ulja, naftnog taloga, iskorišćenih maziva iz industrije* na teritoriji Republike Srbije, ali potencijali za njegovo generisanje nisu zanemarljivi i izraženi su sledećim podacima [7]:

- godišnje se plasira 4 miliona tona naftnih derivata na tržište Srbije,
- na teritoriji Republike Srbije postoje
 - 2 rafinerije, 1600 javnih i 500 internih benzinskih stanica,

- 8 velikih terminala za pretakanje i skladištenje naftnih derivata,
 - 43 toplane koje za proizvodnju toplotne energije koriste ulje za loženje,
 - preko 300 naftnih bušotina,
 - 2 međunarodna aerodroma i još 37 manjih,
- procena je da se godišnje troši oko 50000 t različitih ulja mineralnog porekla. Osim toga, procenjuje se da se na teritoriji Beograda godišnje troši oko 10000 - 15000 t motornih i drugih ulja i maziva [8].
- procenjeno je da industrija Srbije proizvede mešanih organsko-vodenih emulzija 257000 t/godišnje [9].

Osim značajnog zagađenja vazduha u procesu rafinerijske prerade nafte u rafinerijama Pančevo i Novi Sad, usled prisustva lako isparljivih ugljovodonika i drugih aromata, veoma ozbiljnu ekološku opasnost predstavlja veliko zagađenje zemljišta na odlagalištima rafinerijskog mulja. Muljevi sakupljeni sa dna rezervoara imaju visok sadržaj VOC¹, BTEX² i PAH³. Prema podacima dobijenim od saradnika rafinerije nafte Pančevo godišnje se generiše preko 3000 t (slobodna procena, koja se može menjati od godine do godine). *Mulj nastao čišćenjem rezervoara* odlaže se u sabirne taložnike, a dalje se uljna emulzija iz mulja izdvaja centrifugiranjem, tretira ultrafiltracijom i vraća u postupak prerade nafte, a nastali muljni koncentrat se zbrinjava procesom solidifikacije, nakon čega se transportuje van fabrike u potpunoj odgovornosti podugovarača koji izvodi proces solidifikacije.

Skladno potrebama zaštite životne sredine, smernicama iz Bruxellesa iz 2008. godine, EU je kao cilj do 2020. godine propisala povećanja udela biogoriva na čak 20% u gorivima koja se koriste za saobraćaj, čime želi, uz primarno očuvanje sredine, osigurati i stabilnost investicija u taj sektor. Glavni nusproizvod proizvodnje biodizela je *glicerol* (od polazne sirovine za dobijanje biodizela, recimo iskorišćenih jestivih ulja, 10% masenih otpada na glicerol). Veća potražnja za biodizelom može dovesti do prezasićenosti tržišta glicerolom pa se i on može tretirati kao otpad i koristiti kao gorivo.

Podaci Ministarstva energetike, razvoja i zaštite životne sredine Republike Srbije pokazuju da potrošnja jestivog ulja u Srbiji iznosi oko 16 litara po stanovniku godišnje, što znači da bi se tokom godine moglo sakupiti oko 10000 tona *otpadnog jestivog ulja*, koje se svrstava u biomasu i koje bi se koristilo kao alternativno gorivo, direktno u procesima kontrolisanog sagorevanja.

Na teritoriji Srbije postoji nekoliko fabrika za proizvodnju i preradu hartije: [Fabrika kartona Umka](#), [Avala ada](#), [Fabrika hartije Beograd](#). Jedan od nusproizvoda prerade hartije u ovim fabrikama je *papirni mulj* velike vlažnosti i neujednačenog sastava, koji se ne može dalje prerađivati, ali se zato može sagorevati u FS uz podršku nekog kaloričnijeg goriva. Kako se papir se pravi od mreže vrlo tankih celuloidnih vlakana koja se dobijaju uglavnom od drveća, ali i od slame, bambusa i šećerne trske, to se i papirni mulj iz prerade može tretirati kao biomasa.

U radu su dati i eksperimenti sagorevanja zrnaste biomase-kukuruzna. Iako je *zrnasta biomasa* pre svega hrana u ljudskoj i životinjskoj ishrani, ona se može tretirati kao izvanredno gorivo i to upotrebom *otpadnog -zaraženog zrna aflatosinima ili fusarijumom*. Ovo je od posebnog značaja kada se ima u vidu nedavni problem vezan za kontaminaciju kukuruza aflatoxinima, kada je svega 32 % roda bilo bezbedno za ishranu. Osim toga, za potrebe sagorevanja može se koristiti neprodana semenska biomasa, otpad iz mlinova i fabrika kornfleksa i dr.

Karakteristike domaćih lignitskih i mrko lignitskih basena ukazuju na buduću eksploataciju u složenim ugljonosnim serijama, sa izraženim raslojavanjem ugljenog sloja, pa su i oscilacije karakteristika uglja, iskopanog sadašnjom mehanizacijom, neminovnost. Eksploatacione i rudarsko-geološke karakteristike basena kao i potreba za iskorišćenjem *vanbilansnih rezervi uglja* (ugljevi sitne granulacije, sa visokim sadržajem balasta i sumpora, niske toplotne moći i ispod 3500 kJ/kg) ukazuju na opravdanost primene tehnologije koja je manje osetljiva na navedene promene- kotlova sa FS. Već sada doneti propisi o dozvoljenoj emisiji kotlova termoelektrana nameću neophodnost smanjenja emisije ispod vrednosti karakterističnih za klasične kotlove bez postrojenja za odsumporavanje i preduzetih mera za smanjenje emisije NO_x-a. Istovremeno, uvođenje tehnologije sagorevanja u FS je jedan od puteva za povećanje energetske efikasnosti i ekološke prihvatljivosti energetskih postrojenja.

IV. Rezultati i diskusija

Po usvojenoj metodologiji, izvršena je karakterizacija goriva (Tabela 1), radi izračunavanja adijabat-ske temperature sagorevanja - polazne veličine za podešavanje rada aparature (definisane protoka goriva i vazduha radi uspostavljanja stacionarnog stanja na željenoj temperaturi sagorevanja).

¹ *Volatile organic compounds-isparljiva organska jedinjenja koja karakteriše visoki pritisak para na sobnoj temperaturi*

² *benzen, toluen, etilbenzen i kslen-organske isparljive materije iz derivata nafte*

³ Polycyclic aromatic hydrocarbons-poliklični aromatični hidrokarbonati koji su veliki zagađivači vazduha i štetno utiču na zdravlje

Tabela 1. Karakterizacija goriva – delimična tehnička i elementarna analiza

Gorivo [%]	Sunc. ulje		Glicerin	Ulja i masti iz valjaonice		Naftni mulj	Sitni ugalj	Papirni mulj	Kukuruz u zrnju
	I ⁴	II ⁵	I	I	II	III ⁶	I	III	I
Vlaga	0,1	23,04	-	13,21	50,01	78,31	30,81	46,09	11,9
Pepeo	0	0	-	2,27	1,31	9,35	16,16	13,94	1,9
Isparljivo	99,17	76,13	99	84,01	49,6	10	28,87	39,35	76,7
C	77,52	59,72	39,1	74,58	42,95	10,64	36,58	15,99	38,52
H	11,49	8,85	8,7	8,94	5,15	1,28	2,48	2,68	6,32
O	10,89	8,39	10,9	0,09	0,05	0,01	11,79	20,46	40,28
N	0	0	0	0,27	0,16	0,04	0,97	0,73	1,07
S	0	0	0	0,64	0,37	0,37	1,20	0,12	0,01
Hd[MJ/kg]	37	27,9	17	29,8	18,7	3,04	13,6	4,8	17,3

Tabela 2. Radni parametri FS instalacije 1  i 2 

Režim	Protok goriva [kg/h]	Temperatura aktivnog dela FS				Sastav gasa						λ	Protok primar. vazduha [l/h]	Protok sekundar. vazduha [l/h]	v_f [m/s]	N [-]	H_{exp} [mm]	P_{LOZma} [kW]	
		T_2	T_3	T_4	T_5	CO_2	O_2	CO	SO_2	NO	NO_2								
		[°C]				%		ppm											
Sun. ulje	I	3,7	663	898	899	907	5,4	14,5	14	0	12	0	3	116500	2410	1,5	4,8	459	38
	II	4,7	646	871	871	884	5,3	14	2	0	10	0	3	116220	2300	1,5	4,6	451	38
Glicerin		8	634	811	813	893	5,9	14,1	-	-	-	-	3	114720	2630	1,3	4,1	498	38
Ulja i masti iz valj.	I	4,2	607	826	827	841	5	14,4	10	0	50	0	3,1	126480	2780	1,6	4,9	643	35
	II	5,3	658	856	857	865	5,7	13,5	0	0	87	0	2,8	75820	1800	0,95	3	544	27
Naft. mulj + gas	13,7 mulj+ 2,6 gas		660	882	886	899	5,3	12,8	90	166	-	-	2,5	128133	2650	1,65	5	547	44
Sitni ugalj	7,8	658	856	856	869	7,9	13,8	20	940	385		2,9	73419	15128	0,94	3	482	30	
Pap. mulj + gas	58,1 p.m.+ 17,2 gas		855	866	832	-	7,2	11,7	87	78	42	2,4	2,4	565063	-	2,11	4,6	489	300
Kukuruz u zrnju	41,2	60	817	769	-	6,1	14,5	22	0	246	5	3	513722	-	1,9	4	457	170	

Nakon startovanja instalacije sagorevanjem tečnog gasa i dostizanja temeprature FS potrebne za početak sagorevanja ispitivanog goriva, ono se dozira uz podizanje radne temperature FS do željene vrednosti.

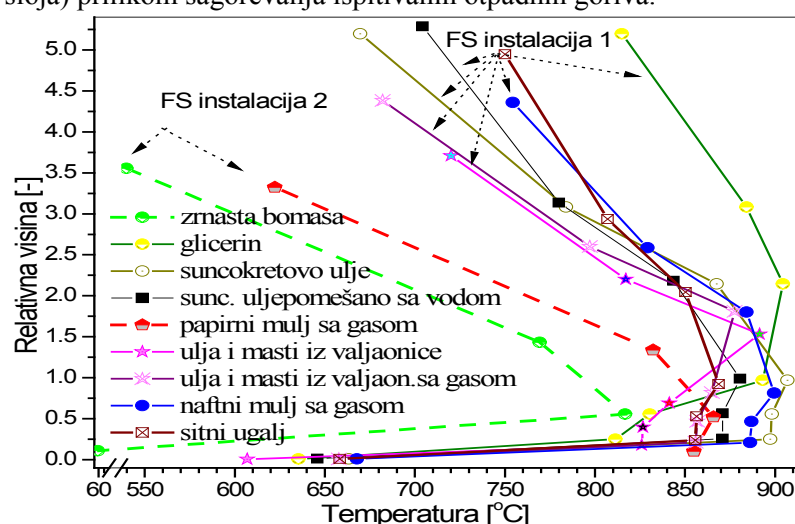
⁴ Gorivo sagorevano u dostavnom stanju

⁵ Dostavno gorivo podmešano sa vodom

⁶ Sagorevanje uz podršku gasa

Podešavanjem protoka radnog goriva i vazduha postiže se stacionarni rad instalacije sa unapred definisanim parametrima rada. Potom se vrše merenja sastava dimnih gasova, protoka goriva, primarnog i sekundarnog vazduha (zbirna Tabela 2).

Proces sagorevanja se u eksperimentima na FS instalaciji 1 obavljao u približno adijabatskim uslovima (bez razmene toplote u sloju), dok je na demonstracionom industrijskom kotlu (FS instalacija 2) postojala razmena toplote između sloja i zidova ložišta. Ložište instalacije 2 je vodom hlađeni cilindrični plašt obložen vatrostalnom opekom u zoni FS - otežan prenos toplote sa sloja na plašt ložišta pa je i u tom postrojenju sagorevanje u FS bilo blisko adijabatskom. Stoga izmereni viškovi vazduha λ u svim slučajevima približno odgovaraju viškovima vazduha pri teorijskim temperaturama sagorevanja goriva. Na Slici 3, dat je uporedni prikaz promena temperatura po relativnoj visini ložišta (visina položaja termoparova u ložištu podeljena sa visinom ekspandiranog sloja) prilikom sagorevanja ispitivanih otpadnih goriva.



Slika 3. Promena temperatura po relativnoj visini ložišta

Sa slike 3 se vidi da prilikom sagorevanja zrnaste biomase i papirnog mulja doziranih na sloj, i uglja pneumatski doziranog u sloj, imamo efikasno uvlačenje plamena u sloj, što nije slučaj pri sagorevanju visoko volatilnih tečnih goriva gde je izražen proces dogorevanja u zoni iznad FS. Stoga se za sagorevanje tečnih volatilnih goriva preporučuje veća visina FS, doziranje „u sloj“ i manji stepen fluidizacije N. Pri tome se parametri sagorevanja poboljšavaju pri dubljem uranjanju mlaznice u sloj. Zbog velike viskoznosti i lakog stinjanja naftnog mulja i istrošenih ulja iz valjaonice, neophodno je njihovo mešanje sa vodom i grejanje linije za doziranje. To ne samo da olakšava doziranje, već i dovodi do pomeranja zone intenzivnog sagorevanja prema sredini sloja, uz smanjenje emisije CO (Tabela 2). Veliki sadržaj ukupnog balasta u naftnom i u papirnom mulju, zahteva podršku sagorevanja propan butanom ili drugim visoko kaloričnim gorivom. Pri sagorevanju niskokvalitetnih frakcija uglja Lubnice ostvaruje se manja razlika temperatura u i iznad sloja, ali i veća emisija SO_2 i NO_x (zbog sastava goriva-Tabela 1) nego pri sagorevanju ispitivanih tečnih goriva, što se rešava odsumporavanjem-dodavanjem krečnjaka u sloj, odnosno amonijaka (redukcija NO_x). Kosagorevanjem papirnog mulja i gasa emisija SO_2 i NO_x ne prelazi zakonske norme. Više koncentracije NO_x pri sagorevanju zrnaste biomase nisu posledica organizacije sagorevanja već sastava agrarne biomase koju karakteriše visok sastav N i O. Kako nisu u pitanju termički ili promptni NO_x postavlja se pitanje opravdanosti primene primarnih mera (kontrola viška vazduha, višestepenog dovođenja goriva ili vazduha i/ili recirkulacije produkata sagorevanja), dok sekundarne mere kontrole emisije NO_x -a (selektivna katalitička ili selektivna nekatalitička redukcija) značajno poskupljuju ova postrojenja.

Vizuelno ispitivanje je potvrdilo postojanje intenzivnog mešanja u sloju i dobru ispunjenost plamena po zapremini ložišta u toku svih eksperimenata, što ukazuje na optimalnu kinetiku procesa termičke razgradnje ispitivanih goriva

V. ZAKLJUČAK

Težište zaključaka ispitivanja podobnosti sagorevanja ispitivanih otpadnih materija i niskokaloričnih goriva u FS odnose se na kvalitet sagorevanja što podrazumeva potpunost sagorevanja i zadovoljenje ekoloških kriterijuma. Izloženi rezultati pokazuju da se goriva različita po sastavu i stanju mogu uspešno sagorevati u FS kotlovima uz pravilno definisane uslove sagorevanja. Izmerene koncentracije CO u dimnim gasovima su u svim slučajevima znatno niže od zakonom dozvoljenih granica, pa su i gubici usled nedogorelog u gasovitim produktima sagorevanja zanemarljivi. Komentar kvaliteta sagorevanja sa stanovišta

zadovoljenja ekoloških propisa u pogledu emisije SO₂ i NO_x su povoljni osim u slučaju sagorevanja sitnih frakcija uglja i kontaminiranog kukuruza. Potrebno je istaći da u Uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduhu nije definisana granična vrednost emisije NO_x pri sagorevanju biomase koja nije drvene prirode, što se može smatrati propustom, pogotovu kada se u vidu ima ratarska biomasa koju karakteriše izuzetno visok sadržaj N₂ usled intezivnog đubrenja ratarskih kultura. Iako se intezivno podstiče upotreba biomase kao “CO₂ neutralne”, čini se da nije posvećeno dovoljno pažnje pri definisanju “blažih” zakonskih ograničenja emisije, pogotovu za postrojenja male snage i kada su ona locirana van urbanih područja, na farmama koje direktno koriste energiju od ovog tipa goriva, što je inače praksa u zemljama EU [10].

ZAHVALNOST

Rad je realizovan u okviru projekta TR33042 “Unapređenje industrijskog postrojenja sa FS u okviru razvoja tehnologije za energetski efikasno i ekološki opravdano sagorevanje različitih otpadnih materija u fluidizovanom ložištu” i projekta III42011 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije.

Literatura

- [1] Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, **EUROPEAN COMMISSION**, July 2006
- [2] **Nemoda, S., et al.**, Numerical model of gaseous fuel jet injection into a fluidized furnace, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 52, pp. 3427–3438, 2009.
- [3] **Mladenović, M., i dr.**, Eksperimenti sagorevanja različitih tečnih goriva u ložištu sa fluidizovanim slojem, *Termotehnika*, 36, 1, str. 133–142, 2010.
- [4] **Mladenović, M. R., et al.**, Combustion of low grade fractions of Lubnica coal in fluidized bed, *Thermal Science*, 16, 1, pp. 295-309, 2012.
- [5] **Mladenović, M., at al.**, A paper waste combustion in a demo-industrial facility with FB, International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, Proceedings on CD-ROM, pp. 1220-1236, ISBN 978-86-7877-021-0.
- [6] **Mladenović, M., i dr.**, Mogućnosti sagorevanja kontaminirane zrnaste biomase i drugih ostataka poljoprivredne proizvodnje u fluidizovanom sloju, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 39, 4, str. 213-220, 2013.
- [7] **Beškoski, V. P.**, Bioremedijacija zemljišta kontaminiranog naftom i naftnim derivatima: mikroorganizmi, putanje razgradnje, tehnologije, *Hem. Ind.*, 66, 2, str. 275–289, 2012, DOI: 10.2298/HEMIND110824084B, <http://www.bremgroup.com/download/NSInvestExpo.pdf>
- [8] Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019. godine, *Službeni glasnik RS*, 2010 broj 29/10
- [9] Upravljanje opasnim otpadom u Republici Srbiji, Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja, 2011.
- [10] **Van Loo, S. Koppejan, J.**, *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*, Earthscan, London, Sterling, VA, UK, 2008.